ЗБОРНИК РАДОВА – Географски факултет Универзитета у Београду: Свеска LIV

COLLECTION OF PAPERS – Faculty of Geography at the University of Belgrade: Vol. LIV

Промене линеарног тренда температуре ваздуха по географским ширинама у периоду сателитских осматрања

Владан Дуцић, Југослав Николић, Јелена Луковић

Linear trend temperature changes for latitudes in the period of satellite measurements

Vladan Ducić, Jugoslav Nikolić, Jelena Luković

УДК 551.524:629.73
Оригинални научни рад Original scientific article

Владан Дуцић
Југослав Николић
Јелена Луковић

ПРОМЕНЕ ЛИНЕАРНОГ ТРЕНДА ТЕМПЕРАТУРЕ ВАЗДУХА ПО ГЕОГРАФСКИМ ШИРИНАМА У ПЕРИОДУ САТЕЛИТСКИХ ОСМАТРАЊА

Извод: У раду су испитиване промене линеарног тренда температуре ваздуха по појасевима од по 10º географске ширине од 1979 до 2005, на основу сателитских података. Добијени резултати указују на присуство поларне амплификације (пораст) температуре ваздуха на северној хемисфери, у складу са моделима, док промене на јужној хемисфери не одговарају моделима антропогеног ефекта стаклене баште. Строго математички посматрано, глобално отопљавање је присутно као сигнификантан тренд, на 54,18% површине планете, али само на највишој математичкој вероватноћи ризика хипотезе. Већ на следећем нивоу вероватноће, отопљавање нема глобални карактер.

Кључне речи: температура ваздуха, сателитска мерења, линеарни тренд, поларна амплификација, глобално отопљавање

Abstract: This study examines linear temperature trend changes for zones of 10º latitude, which are investigated by satellite data in the period 1979-2005. The main results confirm existence of polar amplification (increase) of temperature on the Northern hemisphere according to climate models, while changes on the Southern hemisphere do not confirm anthropogenic greenhouse models. Mathematically speaking, global warming is significant on the 54,18% of the Earth's surface, but only on the highest probability level. Next level of probability does not support global character of warming.

Key words: temperature, satellite measurements, linear trend, polar amplification, global warming

Увод

У складу са повећаним интересовањем научне јавности за климатске промене и колебања последњих деценија, све је више радова и студија које имају за циљ да утврде у којој мери су та колебања у вези са евентуалним антропогеним утицајима.

* Рад представља резултат истраживања на пројекту 146005, који финансира Министарство науке и заштите животне средине Републике Србије.

Међувладин панел за климатске промене (IPCC) је у више наврата давао своје процене могућег утицаја људских активности, пре свега, емисије CO_2 на температуру ваздуха и друге климатске елементе. Последње процене су из 2001. године и по њима би температура ваздуха до краја овог века, под условом да се настави антропогена емисија CO_2 могла да порасте између 1,4 и 5,8ºC (IPCC, 2001).

У документу IPCC 'Summary for Policymakers' стоји да: „се природним факторима може приписати уочено отопљавање у првој половини XX века", као и да „постоје нови и убедљиви докази да се највећи део загревања регистрованог током последњих 50 година може приписати људским активностима". Говорећи о порасту температуре у XX веку, каже се: „осматрања су показала велики степен варијабилности" и да „се већи део отопљавања одвијао у току два периода: 1910-1945. и 1976-2000. године". Из тога следи да је евентуални антропогени ефекат стаклене баште могао да више дође до изражаја тек у последњој четвртини XX века, јер су у првој половини XX века узрок пораста природни фактори, док се у периоду 1946-1975. не запажа битнија промена температуре[1].

То би значило да, ако доминира антропогени утицај у колебањима глобалне температуре, онда је за очекивати и да он има одређене законитости у просторном распореду. Наиме, Manabe и Stouffer (Manabe, Stouffer, 1980) су први увели термин „поларна амплификација" да би описали интензификацију загревања на половима у поређењу са остатком планете као одговор на раст концентрације „стакленичких" гасова. Упрошћен модел који су користили показивао је грубу симетрију амплификације загревања према половима. Наиме оба пола су показивала већи пораст температуре него умерене и екваторијалне ширине.

Полазећи од свега изнетог, покушали смо да испитамо да ли у периоду сателитских осматрања (1979-2005), за који IPCC износи тврдњу о присутности антропогеног утицаја на температуру ваздуха, географски распоред тренда температуре ваздуха то потврђује.

База података и методологија истраживања

За истраживање су коришћени подаци сателитских осматрања за период од 1979 до 2005. Сателитски подаци NASA су обрађени на Универзитету Алабама у Хантсвилу, и доступни су на Интернету[2]. Ови подаци се, за разлику од приземних на GHCN[3], односе на слој тропосфере у првих 8 km висине. Они просторно покривају готово целу планету и доступни су као „гридови" (сегменти) од по 2,5º географске ширине и гео-

[1] http://www.ipcc.ch/pub/spm22-01.pdf
[2] http://www.co2science.org/scripts/CO2ScienceB2C/data/temperatures/msu.jsp
[3] GHCN-Global Historical Climate Network-Глобална мрежа климатолошких станица

графске дужине. Временски су ограничени почетком сателитских осматрања 1979. године (Christy и др., 2000).

Приземна мерења на GHCN односе се на мониторинг у метеоролошким станицама које ни издалека нису хомогено распоређене на планети. То се поготово односи на јужну хемисферу где океани покривају 83% површине, а лед додатних 5 процената[4]. И у осталих 12%, део покривају пустиње или тропске кишне шуме са ретком мрежом климатолошких станица. Са друге стране на северној хемисфери постоји проблем урбаног острва топлоте, који значајно доприноси нехомогености низова података на метеоролошким станицама.

Табела 1. – Промене годишњег линеарног тренда температуре ваздуха по појасевима

Географска ширина	Површина (мил. km^2)	Тренд температуре год. (ºC)	Варијанса R^2 (%)
80-90 N	3,9	0,0465	36,78
70-80 N	11,6	0,0409	43,89
60-70 N	18,9	0,0439	54,78
50-60 N	25,6	0,0329	52,69
40-50 N	31,5	0,0277	38,01
30-40 N	36,3	0,0208	31,14
20-30 N	40,2	0,0119	20,67
10-20 N	42,8	0,0071	6,60
0-10 N	44,1	0,0075	6,46
0-10 S	44,1	0,0080	7,28
10-20 S	42,6	0,0061	4,95
20-30 S	40,2	0,0121	25,89
30-40 S	36,4	0,0137	34,20
40-50 S	31,5	0,0082	12,38
50-60 S	25,6	-0,0030	2,40
60-70 S	18,9	-0,0109	12,59
70-80 S	11,5	-0,0106	3,18
80-90 S	3,9	-0,0157	5,97
Планета	509,6	0,0126	31,8

Посебан проблем односи се на смањивање броја станица. Наиме GHCN је укупно обухватала приближно 7200 метеоролошких станица, међутим нису све станице биле у функцији у целом периоду осматрања. У ствари, само 500 (7%) од 7200 је било у функцији 1880. Овај број је постепено растао до максимума од 5464 у 1966. години, након чега је рапидно опадао. Последњих година број станица се креће око 2000 што је 28% од

[4] http://www.john-daly.com/granger.htm

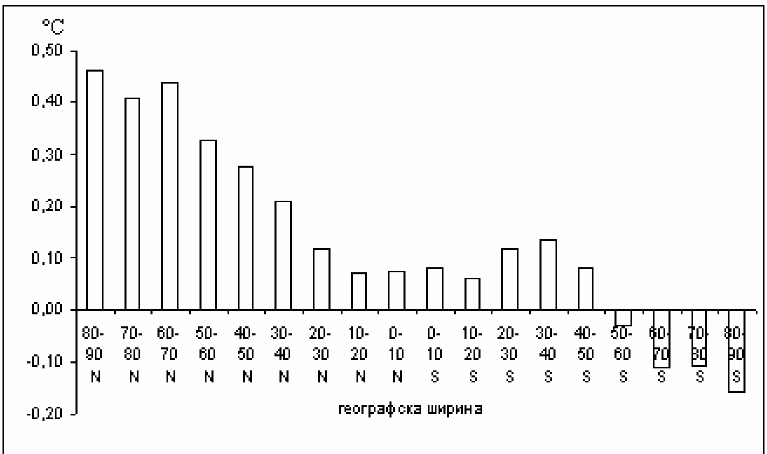
максимума (Peterson, Vose, 1997). Осим тога, код дела метеоролошких станица је дошло и до промене микролокације, што све заједно доприноси значајној нехомогености података са GHCN.

Узевши у обзир објективне слабости мерења на GHCN које се могу одразити на географски распоред трендова температуре, одлучили смо се за податке сателитских осматрања. Наиме, и поред релативно кратког периода осматрања, они се односе на готово целу планету што је од суштинског значаја за ову врсту истраживања, посебно имајући у виду да у том периоду постоји сумња на растући антропогени утицај на глобалну климу.

У истраживању смо најпре издвојили 18 појасева од по 10º географске ширине за целу планету, идући од севера ка југу и дали смо податке за површину сваког од њих (табела 1). За сваки појас појединачно смо израчунали годишњи линеарни тренд температуре ваздуха за цео период сателитских осматрања (1979-2005). Такође су дате вредности варијансе R^2 (%).

Добијени резултати и тумачење

Ради прегледније анализе добијени резултати приказани су на графикону (слика 1). Идући од севера ка југу, запажа се да су највише вредности тренда температуре ваздуха, у појасу 80-90 N (0,0465ºC годишње). Према екваторијалној области вредности тренда релативно правилно опадају, и на северној хемисфери су промене најмање у појасу од 10-20 N (0,0071ºC годишње).



Слика 1. – Промене вредности годишњег линеарног тренда температуре ваздуха по појасевима

На јужној хемисфери, почев од екватора, вредности линеарног тренда углавном расту до суптропских ширина 30-40 S где тренд износи 0,0137ºC годишње, а затим неочекивано опада, да би на 50-60 S имао не-

гативну вредност од -0,0030ºC годишње. Идући даље ка половима у свим појасевима тренд је негативан, а најнижи је у појасу око самог јужног пола где износи -0,0157ºC годишње.

Анализа промене тренда температуре ваздуха по појасевима у периоду 1979-2005. показује да промене на северној хемисфери одговарају моделу поларне амплификације, који су дали Manabe и Stouffer. Промене тренда на јужној хемисфери у екваторијалном и тропском појасу су такође у складу са моделом. Међутим, идући од суптропског појаса даље према југу промене тренда по знаку не одговарају моделу, односно не постоји јужна поларна амплификација. Практично на јужној хемисфери највећи пораст температуре је у суптропском појасу (30-40 S), а не у јужној поларној области где је, неочекивано негативни тренд, који чак има и највише вредности на планети од-0,0157ºC годишње.

И у неким новијим радовима се такође говори о присутности поларне амплификације на планети у процесу глобалног загревања насталим од антропогеног ефекта стаклене баште (Hansen и др., 2006).

Поједини аутори су истраживали процес поларне амплификације за северну хемисферу у условима удвостручења концентрације CO_2 у односу на период пре индустријске револуције. Закључили су да при најблажим варијантама модела пораст у вишим северним ширинама је већи за два пута од просечних вредности за планету. У екстремној варијанти, пораст температуре је четири пута већи од просека (Holland, Bitz, 2003). Међутим, већина модела даје пораст температуре два до три пута већи од просека. У поменутом периоду 1979-2005, у току 27 година, температуре је по линији тренда порасла за 0,34ºC, док је у области око северног пола, она порасла за 1,26ºC, што је 3,7 пута више. Дакле амплификација као појава на северној хемисфери „функционише“. Међутим, у области око јужног пола температура је *опала* за 0,42ºC, што значи да поларна амплификација није присутна.

Разматрајући поларну амплификацију глобалног отопљавања у арктичком простору за много дужи период од 125 година Polyakov и др. констатују: „Трендови температуре ваздуха над Арктиком и северном хемисфером у току XX века су слични и не указују на предвиђену поларну амплификацију глобалног отопљавања“ (Polyakov и др., 2002). Kahl и др. анализирајући промене у Северном леденом океану у периоду 1950-1990 региструју изразити негативни сигнификантни тренд од -0,37 по декади (Kahl и др., 1993). У најновијем периоду (1979-1997), који се донекле поклапа са нашим Rigor и др. (Rigor и др., 2000) у западном делу Северног леденог океана не региструју било какву промену (декадни тренд +0,00). Имајући у виду, резултате поменутих аутора, процес поларне амплификације на северној хемисфери не може се једнозначно тумачити, и у сваком случају захтева даља истраживања.

Посматрано у дужим периодима, годишњи тренд на северној и јужној хемисфери показују извесне сличности (мале промене пре 1900, врх

раних 1940-их, највише температуре после 1980.), али се примећују и неке разлике. Постојан период пораста температуре присутан је на северној хемисфери у периоду од 1910 до 1940-их. На јужној хемисфери уочава се нешто мањи тренд пораста од 1910 до 1930 са неочекиваним и наглим растом почев од 1930 до 1940. Подаци за северну хемисферу указују на постепено опадање температуре од 1940 до 1970, након чега она постојано расте. Јужна хемисфера показује нагли пад температуре након 1945, а затим значајно варирање температуре до 1960, праћено постепеним порастом до краја анализираног периода[5]. Линеарни тренд температуре за северну и јужну хемисферу износи 0,69 и 0,70 за цео низ података.

У периоду који смо ми посматрали 1979-2005, на основу поузданих сателитских мерења, оно што је најуочљивије, то је пад температуре на јужној хемисфери јужно од појаса од 50-60 S, све до саме јужне поларне области (80-90 S).

Comiso је анализирао податке температуре ваздуха на Антарктику, прикупљене са 21 метеоролошке станице као и вредности сателитских осматрања, од 1979. Он је нашао да се за цео Антарктик температура снижавала за између 0,08 и 0,42°C по декади (Comiso, 2000). У студији коју су дали Thompson i Solomon (Thompson, Solomon, 2002) такође је запажено снижавање температуре у унутрашњости Антарктика.

Слично су уочили и Doran и др. који су истраживали трендове температуре ваздуха у McMurdo сувим долинама на Антарктику за период од 1986. до 2000. и регистровали захлађење од 0,7°C по декади. Ова како наводе: „драматична стопа негативног тренда одражава дугорочно континентално захлађење на Антарктику у периоду између 1966 и 2000" (Doran и др., 2002). Аутори даље наводе да се 14-огодишње снижавање температуре јавља у лето и јесен као и 35-огодишње захлађење читавог континента (изузев тзв. сувих долина) које је такође у лето и јесен.

Најновији подаци показују да ни у много дужим периодима на Антарктику није присутна поларна амплификација температуре (Schneider и др., 2006). Наиме, Schneider и др. на основу палеоклиматсих метода са високим степеном поузданости реконструисали су промене температуре на Антарктику за последњих 200 година. Они тврде да: „су температуре ваздуха на Антарктику почетком XIX века биле једнако високе као 30-их и 40-их година прошлог века, као и крајем 80-их и 90-их година XX века". Укупни пораст температуре, по њима, од краја XIX века износи свега 0,2°C, што је значајно мање од 0,7 за целу јужну хемисферу, како смо раније навели. Добијени резултати нашег истраживања као и резултати других аутора указују на то да у периоду глобалног отопљавања, поларне амплификације на јужној хемисфери није било.

---

[5]http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/temp/jonescru/jones.html

У том смислу, неке алармантне варијанте промена масе леда на Антарктику и повишења нивоа океана не стоје. У извештају IPCC се каже да: „на основу модела, климатске промене су у току XX века на Антарктику доприносиле промени нивоа океана између -0,2 и 0,0 mm годишње, услед повећања падавина“. Са друге стране промене на Гренланду су доприносиле промени нивоа океана од 0,0 до 0,1mm годишње (због промена падавина и протицаја) (IPCC, 2001).

Користећи сателитска осматрања у периоду од 1980-2004. Van der Berg и др. креирали су модел који показује да је биланс масе површинског леда Антарктика позитиван и да је растао за $2{,}52 \pm 0{,}3 * 10^{15}$ kg годишње (Van der Berg и др., 2006). Тај раст масе је био континуалан и утицао је на снижавање средњег глобалног нивоа океана. До сличних резултата дошао је и Vaughan (Vaughan, 2005).

Ни пројекције које даје IPCC до краја XXI века, што се тиче Антарктика нису катастрофичке, јер предвиђају допринос Антарктичког леда нивоу Светског океана за -0,17 до 0,2 m укупно.

Имајући у виду чињеницу да је на делу планете присутан негативан тренд температуре у сателитском периоду осматрања, хтели смо да проверимо колико процената он заузима. Утврдили смо да је то 11,8% од укупне површине планете, односно 23,5% простора јужне хемисфере (табела 2).

У вези проблема поларне амплификације температуре, неопходно би било размотрити и статистички значај (сигнификантност) прорачунатих линеарних трендова температуре за поједине појасеве.

У том циљу користили смо *t тест.* На основу укупног броја елемената умањеног за 2 (n-2 степени слободе) и коефицијента детерминације (R^2, приложен у табели 1.) коришћена је формула:

$$t = R\sqrt{\frac{n-2}{1-R^2}}$$

За степен слободе 25 и ниво вероватноће ризика прихватања хипотезе од 0,05 у таблици граничних вредности *t теста,* теоријска вредност сигнификантности износи 1,714. У том случају је линијски тренд у поларним областима северне хемисфере сигнификантан. На јужној хемисфери тренд је сигнификантан у појасу од 60-70S, али је негативног знака, односно присутно је сигнификантно захлађење.

Када се посматра Земља у целини, на наведеној иначе највишој вероватноћи ризика, сигнификантан тренд заузима 54,18% површине планете по појасевима. Већ на следећем, нижем нивоу вероватноће ризика са граничном вредношћу 2,06, позитивни тренд температуре ваздуха је сигнификантан на 48,00% површине планете. На најнижем нивоу вероватноће ризика од 0,005 (гранична вредност од 2,81), „глобално отопљавање“ заузима 40,11% Земљине површине по појасевима.

Табела 2. – Значајност (сигнификантност) трендова температуре на основу t теста

Географска ширина	Резултат t теста	Вероватноћа ризика			
		0,05	0,025	0,01	0,005
		Сигнификантност			
80-90 N	3,814	Да	да	да	да
70-80 N	4,422	Да	да	да	да
60-70 N	5,503	Да	да	да	да
50-60 N	5,277	Да	да	да	да
40-50 N	3,915	Да	да	да	да
30-40 N	3,362	Да	да	да	да
20-30 N	2,552	Да	да	да	не
10-20 N	1,329	Не	не	не	не
0-10 N	1,314	Не	не	не	не
0-10 S	1,401	Не	не	не	не
10-20 S	1,141	Не	не	не	не
20-30 S	2,955	Да	да	да	да
30-40 S	3,605	Да	да	да	да
40-50 S	1,879	Да	не	не	не
50-60 S	0,784	Не	не	не	не
60-70 S	1,898	Да	не	не	не
70-80 S	0,906	Не	не	не	не
80-90 S	1,260	Не	не	не	не
Планета	3,414	Да	да	да	да
		Вероватноћа ризика			
		0,05	0,025	0,01	0,005
Сигнификантни пораст (%)		54,18	48,00	48,00	40,11
Несигнификантно (%)		42,11	52,00	52,00	59,89
Сигнификантни пад (%)		3,71	0,00	0,00	0,00

Дакле, строго математички посматрано, уочени статистички сигнификантан пораст температуре на Земљи у периоду сателитских осматрања (1979-2005) је глобалан само на највишој вероватноћи ризика прихватања те хипотезе. Већ на наредном нивоу статистичке сигнификантности не потврђује се хипотеза о „глобалном отопљавању“ јер је сигнификантан пораст присутан на мање од 50% површине планете по појасевима.

Закључак

У раду је истраживан линеарни тренд температуре ваздуха по географским ширинама од по 10^{o} у периоду сателитских осматрања (1979-2005). Појава поларне амплификације (пораст температуре ваздуха са гео-

графском ширином) присутна је на северној хемисфери, што је у складу са моделима антропогеног ефекта стаклене баште. Међутим, резултати других аутора за дуже периоде, као и поједине, регионе око северног пола, не указују на поларну амплификацију, што захтева даља истраживања.

Са друге стране, поларна амплификација на јужној хемисфери не „функционише“, односно тренд температуре расте до појаса 30-40ºS, а затим опада тако да од 50-60ºS па све до пола има негативне вредности. Супротно моделима антропогеног ефекта стаклене баште, на самом јужном полу достиже највишу негативну вредност. С тим у складу, маса леда на Антарктику се последњих деценија повећава. Постојеће пројекције не указују на могућу катастрофу, и предвиђају допринос отапања антарктичког леда глобалном нивоу светског океана у распону од -0,17 до0,2 m до краја XXI века (IPCC, 2001).

Посматрано по појасевима од по 10º географске ширине, сигнификантан тренд пораста температуре односи се на 54,18% површине планете, ако се посматра на највишем статистичком нивоу вероватноће ризика прихватања хипотезе. Већ на следећем, нижем нивоу вероватноће ризика, позитиван тренд температуре ваздуха је сигнификантан на 48,00% површине планете и отопљавање нема сигнификантно глобални карактер. На најнижем нивоу вероватноће ризика од 0,005 „глобално отопљавање“ заузима 40,11% Земљине површине.

Имајући у виду добијене резултате нашег истраживања као и резултате неких других аутора, мишљења смо да су нека тумачења глобалног отопљавања и његових последица предимензионирана. Очекујемо да ће анализа промене трендова температуре на „гридовима“ веће резолуције прецизније дефинисати географски аспект глобалног отопљавања.

Литература

Comiso J. C. (2000): Variability and trends in Antarctic surface temperatures from *in situ* and satellite infrared measurements. Journal of Climate 13.

Christy J. R., и др. (2000): MSU Tropospheric Temperatures: Dataset Construction and Radiosonde Comparisons. Journal of Atmospheric and Oceanic Research 17.

Doran P. T. и др. (2002): Antarctic climate cooling and terrestrial ecosystem response. Nature advance online publication, (DOI 10.1038/nature710).

Дуцић В., Радовановић М. (2005): Клима Србије. Завод за уџбенике и наставна средства, Београд.

Hansen J. и др. (2006): Global temperature change. Proceedings of National Academy of Science of the United States of America, vol. 130, no. 39.

Holland, M. M., Bitz C. M, (2003): Polar amplification of climate change in coupled models. Climate Dynamics, 21.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2001): The Scientific Basis. Contribution of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, New York.

Kahl, J. D. и др. (1993): Absence of evidence for greenhouse warming over the Arctic Ocean in the past 40 years. Nature, 361.
Manabe S., Stouffer R. J. (1980): Sensitivity of a global climate model to an increase of CO2 concentration in the atmosphere. Journal of Geophysical Research, 85.
Peterson T. C., Vose R. S. (1997): An overview of the Global Historical Climatology Network temperature data base. Bull. of the American Meteorological Society 78.
Polyakov I. V. и др. (2002): Observationally based assessment of polar amplification of global warming. Geophysical Research Letters, vol. 29, no. 18.
Rigor, I. G. и др. (2000): Variations in surface air temperature observations in the Arctic, 1979-1997. Journal of Climate, 13.
Schneider D. P. и др. (2006): Antarctic temperatures over the past two cenuries from ice cores. Geophysical Research Letters, vol. 33
Thompson D. W. J., Solomon S. (2002): Interpretation of recent Southern Hemisphere climate change. Science 296.
Van de Berg W. J. и др. (2006): Reassessment of the Antarctic surface mass balance using calibrated output of a regional atmospheric climate model. Journal of Geophysical Research 111.
Vaughan D. G. (2005): How does the Antarctic ice sheet affect sea level rise? Science 308.

Vladan Ducić
Jugoslav Nikolić
Jelena Luković

LINEAR TREND TEMPERATURE CHANGES FOR LATITUDES IN THE PERIOD OF SATELLITE MEASUREMENTS

Summary

According to the growing interest of scientific public for climate change and variability in recent decades, there are more and more papers and studies whose aim is to find possible relation between climate variability and anthropogenic influence. Considering that, we tried to investigate geographical distribution of temperature trends in the period of satellite measurements (1979-2005). IPCC declared that in this period there was strong anthropogenic influence on the air temperature. Linear trend temperature changes on the Northern hemisphere are showing existence of polar amplification (increase of air temperature trends over latitudes), which are in agreement with anthropogenic greenhouse effects. However, long-term periods, as well as some regions do not show polar amplification. Linear trend temperature changes on the Southern hemisphere are not in agreement with models, because southern of 50ºS there is a negative trend with the highest negative value in the area of Antarctic. Ice volume in this area increases and predictions about catastrophic ice-melting are unreal. Considering zones of 10º latitude, there is significant temperature trend on 54,18% of the Earth's surface on the highest probability level. On the next lower probability level, positive trend is significant only on 48,00% of the Earth's surface and warming is not significantly global.